

# PROSPEÇÃO GEOFÍSICA POR GEORADAR EM CONIMBRIGA

Relatório Final



15/07/2019

Georadar 250MHz



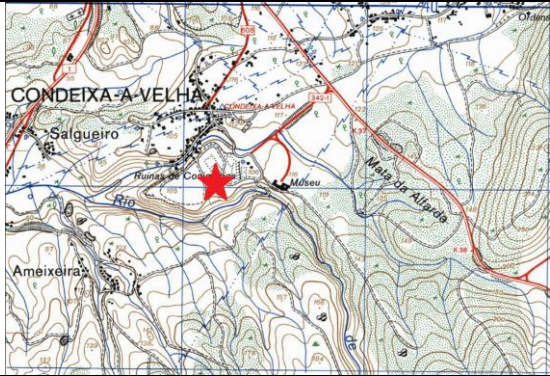
Responsabilidade Técnica:

A handwritten signature in black ink, which appears to read 'Nuno Barraca', is written over a horizontal line.

(Nuno Barraca)



## Ficha técnica

designação da intervenção	Prospecção Geofísica por Georadar em Conimbriga
acrónimo da intervenção	Coni'19
designação do sítio	Ruínas de Conimbriga
localização administrativa	R. das Ruínas 7, Condeixa-a-Velha, Condeixa-a-Nova, Coimbra
coordenadas geográficas	-8.494679; 40.09851
altitude média	370 metros
folha da carta militar	251 - Condeixa-a-Nova
extrato da CMP 1/25.000	
tipo de trabalho	Prospecção Geofísica GPR 250MHz
área total da intervenção	852m <sup>2</sup>
uso do solo	Ruínas/Museu
responsáveis técnicos	Nuno Barraca
relação de participantes	Nuno Barraca; Luís Bento
data e duração dos trabalhos	10/06/2019 e 11/06/2019 (2 dias úteis)
projeto de investigação	---
proprietário / promotor	Museu Monográfico de Conimbriga

## Índice

Índice de Figuras.....	2
<b>ENQUADRAMENTO DA AQUISIÇÃO .....</b>	<b>3</b>
Enquadramento e objetivos da prospeção geofísica .....	3
<b>CARACTERIZAÇÃO DAS TÉCNICAS E MÉTODOS UTILIZADOS .....</b>	<b>4</b>
Georadar .....	4
<b>ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO E AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES LOCAIS.....</b>	<b>5</b>
<b>EQUIPAMENTOS, MÉTODOS E ESTRATÉGIAS UTILIZADAS .....</b>	<b>7</b>
Equipamento e software de processamento de dados .....	7
Condicionantes à realização dos trabalhos .....	7
Estratégia dos trabalhos de Geofísica.....	7
Metodologia de processamento de dados.....	9
Georadar .....	9
<b>INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS .....</b>	<b>10</b>
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES .....</b>	<b>14</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>15</b>

## Índice de Figuras

Figura 1: Extrato da carta geológica de Portugal na escala 1:50 000 com a área de estudo marcada a vermelho.....	6
Figura 2: Aspeto geral da área de estudo .....	6
Figura 3: Localização das grelhas de aquisição de GPR.....	8
Figura 4: Aspeto da operação do sistema de Georadar NOGGIN 250 .....	8
Figura 5: Representação dos resultados da aquisição por Georadar a uma profundidade média estimada entre 0.5m e 0.6m.....	10
Figura 6: Representação dos resultados da aquisição por Georadar a uma profundidade média estimada entre 1.0m e 1.1m.....	11
Figura 7: Representação dos resultados da aquisição por Georadar a uma profundidade média estimada entre 1.5m e 1.6m.....	11
Figura 8: A vermelho: alinhamentos identificados nos <i>Time Slices</i> com a respetiva profundidade de deteção marcada a negro junto do alinhamento.....	12
Figura 9: A azul: áreas anómalas com as respetivas profundidades de identificação.....	13

# Prospecção Geofísica por Georadar em Conimbriga

GEORADAR 250MHZ

## ENQUADRAMENTO DA AQUISIÇÃO

### Enquadramento e objetivos da prospecção geofísica

O objetivo do presente trabalho, realizado em Conimbriga (Condeixa-a-Velha), é a avaliação do potencial arqueológico da área, com o intuito em aferir a existência de indícios arqueológicos, com especial incidência àqueles que possam demonstrar com uma cronologia compatível com a ocupação Romana e Medieval do sítio.

Para este trabalho, recorreu-se a uma solução para investigação do local baseada num levantamento de áreas selecionadas com recurso a um Georadar, dotado de uma antena de banda larga com frequência central de 250MHz.

No presente relatório é apresentada uma pequena introdução às metodologias aplicadas, um enquadramento geológico e um resumo dos trabalhos de campo bem como, o respetivo processamento em laboratório. Também foi feita a interpretação dos resultados e a sua representação cartográfica.

## CARACTERIZAÇÃO DAS TÉCNICAS E MÉTODOS UTILIZADOS

### Georadar

O Georadar, sigla GPR - “Ground Probing Radar” ou “Ground Penetrating Radar”, é um método que permite detetar remotamente objetos enterrados, proporcionando assim uma melhor planificação dos trabalhos de Engenharia, Arqueologia ou outros com impacto nesses eventuais objetos enterrados, qualquer que seja a sua natureza específica.

Com efeito, trata-se de um método geofísico eletromagnético de aquisição e registo de informação do subsolo próximo da superfície. É um método ativo, de emissão e receção de impulsos eletromagnéticos a partir de antenas, de superfície ou em furos de sondagem, com aplicação em diversos domínios como a Engenharia, Geotecnia, Geoambiente, Ciência Forense, Arqueologia, etc.

No domínio da Engenharia, entre outras aplicações específicas, é especialmente adequado para a deteção de vazios preenchidos por ar, mapeamento da estratificação do subsolo, deteção de infraestruturas e identificação de malhas de aço, ou seja, interfaces entre materiais com propriedades eletromagnéticas contrastantes (condutividade elétrica, permissividade dielétrica e permeabilidade magnética). Estas propriedades condicionam, em larga medida, a atenuação e a velocidade de propagação dos impulsos. A frequência central da antena emissora e o teor em água dos solos são fatores determinantes na profundidade atingida e na resolução conseguida. Por este motivo, a escolha da antena utilizada é muito importante, devendo variar em função das dimensões e profundidades dos objetos refletores em estudo.

A medição do tempo total de percurso dos impulsos, transmissões e reflexões, e o cálculo das respetivas velocidades de propagação, permitem estimar a profundidade das estruturas e interfaces detetadas.

Os trabalhos de aquisição recorrendo a um Georadar, consistem em fazer percorrer uma antena com um transmissor e um recetor ao longo da superfície das áreas a prospectar. As ondas eletromagnéticas são enviadas pela antena emissora e posteriormente recebidas na antena recetora, após terem sido parcialmente refletidas no interior do solo. A antena liga-se a uma unidade de controlo por um cabo que controla os parâmetros de aquisição e o armazenamento dos dados. Por sua vez, os dados obtidos durante o levantamento são armazenados na unidade central.

Este procedimento é realizado ao longo de perfis/linhas de aquisição, sendo os dados recebidos pela antena recetora transferidos para um computador, de forma a que posteriormente possam ser digitalizados e registados sob a forma de sequências 2D de traços individuais, designados radargramas. A interpretação poderá ser realizada a partir dos radargramas em “cru” e/ou após aplicação de diversas técnicas de visualização e/ou processamento.

Finalmente, uma sequência de perfis 2D pode ser interpolada em bloco por forma a obter um “cubo 3D”, correspondente à totalidade da área intervencionada. Este “cubo” pode ser então visualizado em fatias correspondentes a um determinado tempo e, consequentemente, a uma determinada profundidade calculada. Estas “fatias de tempo” (*Time Slices*) representam

imagens em planta a uma determinada profundidade onde são visualizadas e interpretadas as diversas “anomalias” (contrastes evidentes nas propriedades refletivas dos materiais), que deverão corresponder às estruturas presentes no meio investigado.

## ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO E AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES LOCAIS

A Figura 1 apresenta um extrato da carta geológica de Portugal na escala 1:50 000, sob a qual está representada com um ponto vermelho a área de estudo. A figura mostra a localização da área de intervenção com uma estrela a vermelho. Assim, como evidenciado na figura, a área de estudo está inserida na folha 19-D da carta geológica.

De uma análise prévia da cartografia geológica, constatou-se que a área de intervenção está situada num local caracterizado por rochas sedimentares carbonatadas designadas de Tufos Calcários e Travertinos da formação dos Tufos de Condeixa (Q<sub>CO</sub>). Segundo a informação bibliográfica disponível (Mendes, 1985), os tufos calcários e travertinos são rochas principalmente de origem química, constituídos principalmente por Carbonato de Potássio, embora passam apresentar na sua estrutura elementos detríticos de uma vasta gama granulométrica, variável entre as argilas e os calhaus de dimensão decimétrica. Segundo o mesmo autor, os tufos presentes em Conimbriga apresentam níveis de conglomerados, normalmente associados a canais.

A meteorização de rochas carbonatadas origina solos ricos em argilas vermelhas designadas de *Terra Rossa*. Estas argilas ricas em ferro provocam uma grande atenuação do sinal do Georadar, particularmente quando apresentam um elevado teor em água. Em campo registou-se a presença desta tipologia de solos, embora bastante secos. Assim, a utilização de uma antena de mais baixa frequência possibilitará a aquisição de dados a maior profundidade, mitigando assim a atenuação naturalmente provocada pelo solo.

No que respeita às condições do local de estudo, estas mostraram-se bastante favoráveis. A área de estudo apresentou um perfil plano e sem obstáculos, tendo sido adequadamente limpa de cobertura vegetal.



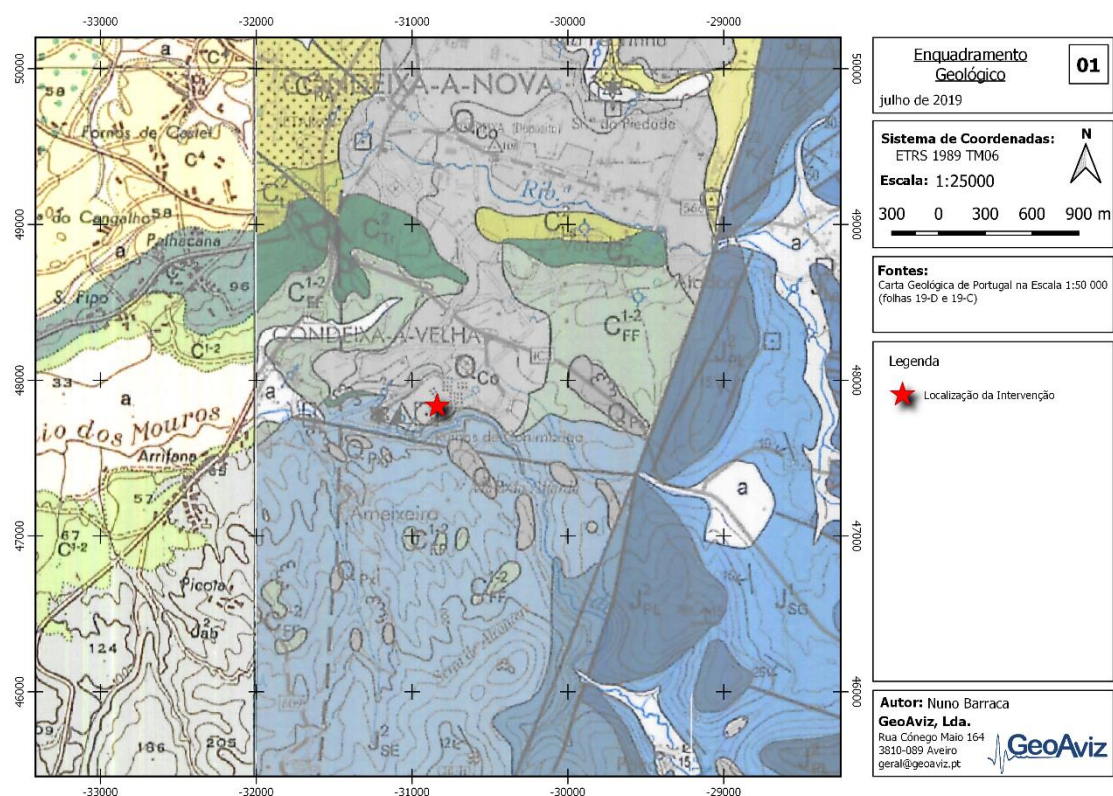


Figura 1: Extrato da carta geológica de Portugal na escala 1:50 000 com a área de estudo marcada a vermelho.



Figura 2: Aspetto geral da área de estudo

## EQUIPAMENTOS, MÉTODOS E ESTRATÉGIAS UTILIZADAS

### Equipamento e software de processamento de dados

Para a realização deste trabalho foram alocados os seguintes equipamentos e programas informáticos:

- GPR: Sistema Noggin 250 da Sensors & Software com antena blindada de 250MHz;
- Geolocalização: GPS Diferencial EMLID Reach RS+;
- Fotografia: Máquinas Fotográficas Nikon A10;
- Medição e marcação das áreas de estudo: Fitas métricas, cavilhas e estacas;
- Tratamento de dados: Sensors & Software EKKO\_Project 5
- Processamento de dados GPR: Reflex-Win v9.0;
- Informação geográfica: QGIS 3.8.0- Zanzibar

### Condicionantes à realização dos trabalhos

Para além da atenuação espectável dos solos argilosos ricos em ferro discutida anteriormente, a equipa da GeoAviz não se deparou com condicionantes que possam afetar significativamente os trabalhos, processamento de dados e interpretação,

Para o presente trabalho, apenas se demonstra importante evidenciar que, dada a grande dimensão temporal da ocupação do sítio, é espectável que as estruturas no subsolo estejam bastante perturbadas devido às consecutivas construções/reconstruções que possam ter existido.

### Estratégia dos trabalhos de Geofísica

A estratégia de aquisição neste trabalho foi adaptada às áreas disponíveis no campo e aos objetivos a atingir com a prospeção. A aquisição centrou-se na inspeção de uma área com cerca de 852m<sup>2</sup>. Esta área, como forma de otimização da aquisição foi dividida em três áreas distintas de acordo com a Figura 3. Nesta figura são representadas as diferentes grelhas de Georadar (GPR) adquiridas no terreno. Doravante as áreas de estudo por Georadar serão referidas a esta figura.

Todas as áreas (grelhas) inspecionadas com georadar foram adquiridas com recurso a um sistema de GPR Noggin 250 (Figura 4). Quanto à geometria de aquisição, cada grelha foi sujeita a um levantamento exaustivo de toda a sua área com passagens paralelas de GPR, espaçadas de 0,25m entre si, cruzadas ortogonalmente com passagens paralelas com igual espaçamento. A aquisição dos perfis de GPR, quando possível, foi efetuada em meandro (passagens em ambas as direções) por forma a minimizar o tempo necessário para a aquisição de cada área.





Figura 3: Localização das grelhas de aquisição de GPR.



Figura 4: Aspeto da operação do sistema de Georadar NOGGIN 250

Os parâmetros de aquisição do sinal foram os seguintes:

- Espaçamento entre perfis: 0.25m;
- Espaçamento de medidas dentro de cada perfil: 0.05m;
- Janela de tempo: 207.2ns;
- Empilhamento do sinal (*Stacking*): >8 (automático).
- Velocidade média estimada do sinal em campo: 0.085m/ns

A geolocalização dos diversos polígonos de aquisição foi efetuada com recurso a um GPS diferencial com correções RTK EMLID Reach RS+.

## Metodologia de processamento de dados

### Georadar

Para visualização e interpretação dos dados adquiridos, foi necessário recorrer ao processamento de dados. Assim, os dados adquiridos com Georadar, foram inicialmente importados e visualizados com o programa informático EKKO\_Project 5. Seguidamente os dados foram processados com o programa informático Reflex-Win v9.0. Para tal, os dados foram inicialmente importados sob a forma de perfis individuais, aos quais foi necessário adicionar a geometria relativa de cada um. Posteriormente os perfis foram processados individualmente, com recurso à seguinte metodologia (Daniels (2000), Annan et al. (1992)):

1. Filtro de remoção do ruído de muito baixa frequência (*Dewow*);
2. Ajuste do tempo zero (*Time Zero*);
3. Filtro de remoção do ruído de fundo (*Background Removal*);
4. Filtro passa-banda (*Bandpass Butterworth*);
5. Determinação da velocidade de propagação do sinal, com recurso a adaptação de hipérboles teórica a hipérboles de difração no sinal.
6. Migração dos dados, usando empilhamento de difrações com a velocidade anteriormente determinada.

Os perfis foram interpolados em 3D no módulo adequado do programa Reflex-Win, no qual foram também interpretadas as anomalias existentes.

Finalmente, as fatias de tempo resultantes da interpolação 3D, foram colocadas em programa SIG, para criação de mapas interpretativos dos eventos identificados.

## INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

Dos resultados da investigação, foi possível retirar conclusões no que respeita a diversos eventos, que serão discutidos nesta secção do relatório. Assim, as Figuras 5, 6 e 7 apresentam os resultados gerais da prospecção por georadar às profundidades estimadas de 0.5m, 1.0m e 1.5m, respetivamente. De uma primeira análise das figuras é perceptível a grande dispersão de materiais e dificuldade de identificação em camadas individuais de muros e outras estruturas relevantes. No entanto, quando se analisa em detalhe as imagens, é perceptível a existência de anomalias e alinhamentos concordantes com a malha urbana visível no levantamento topográfico das estruturas existentes fornecido pelo promotor do projeto.

Dada a dificuldade de interpretação que poderia causar a marcação e demonstração individualizada de todas as anomalias presentes nos *Time Slices*, optou-se pela sua marcação vetorial e apresentação global das mesmas, com identificação da respetiva profundidade de deteção. Anexamente ao presente relatório será fornecido um projeto SIG (QGIS 3.8.0) com toda a informação apresentada neste relatório.

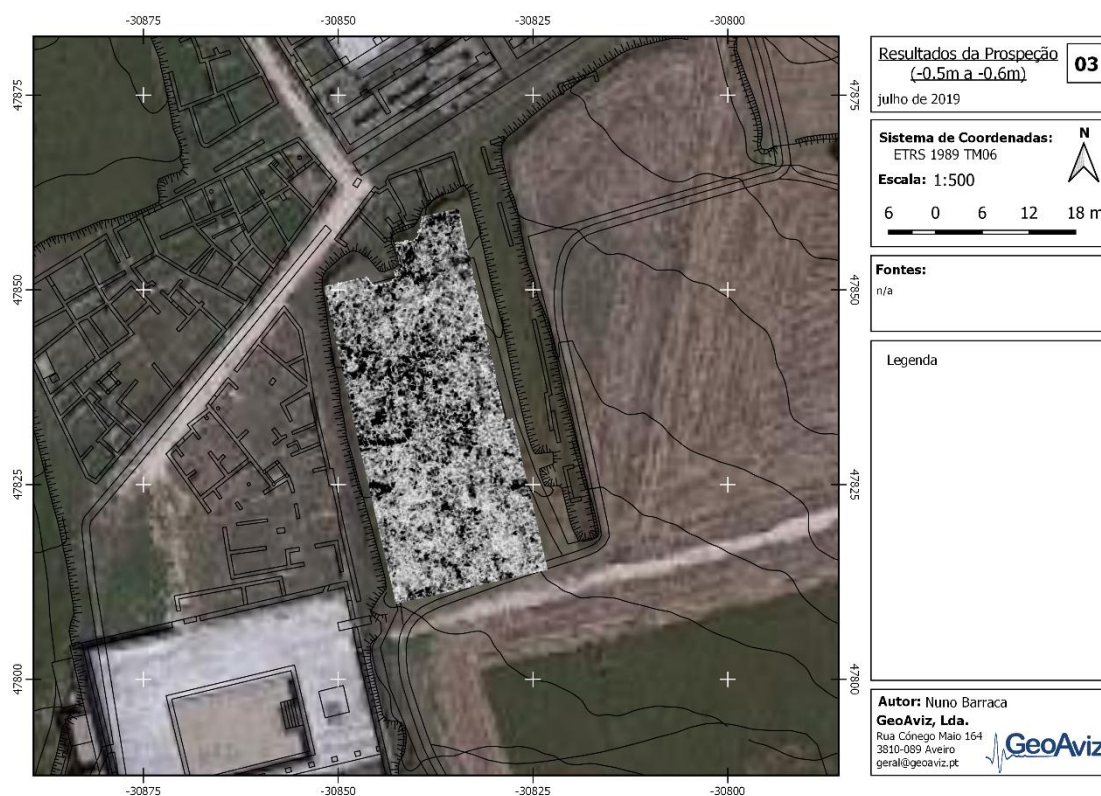


Figura 5: Representação dos resultados da aquisição por Georadar a uma profundidade média estimada entre 0.5m e 0.6m.



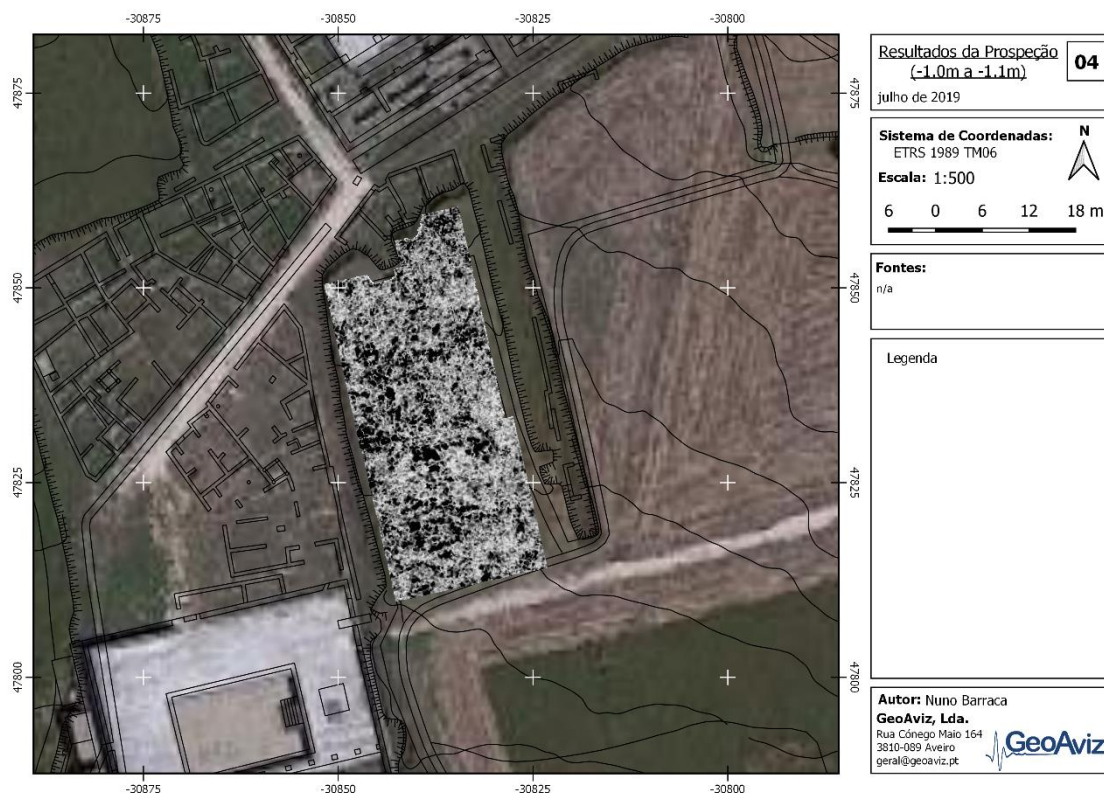


Figura 6: Representação dos resultados da aquisição por Georadar a uma profundidade média estimada entre 1.0m e 1.1m.

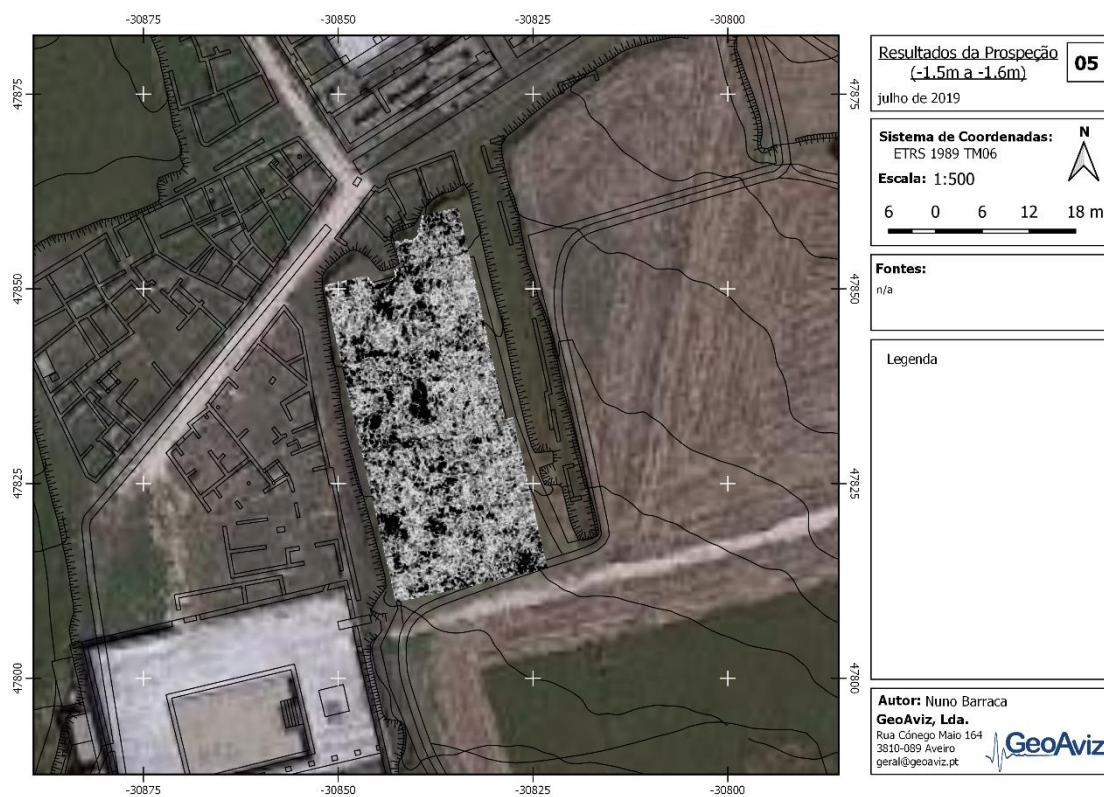
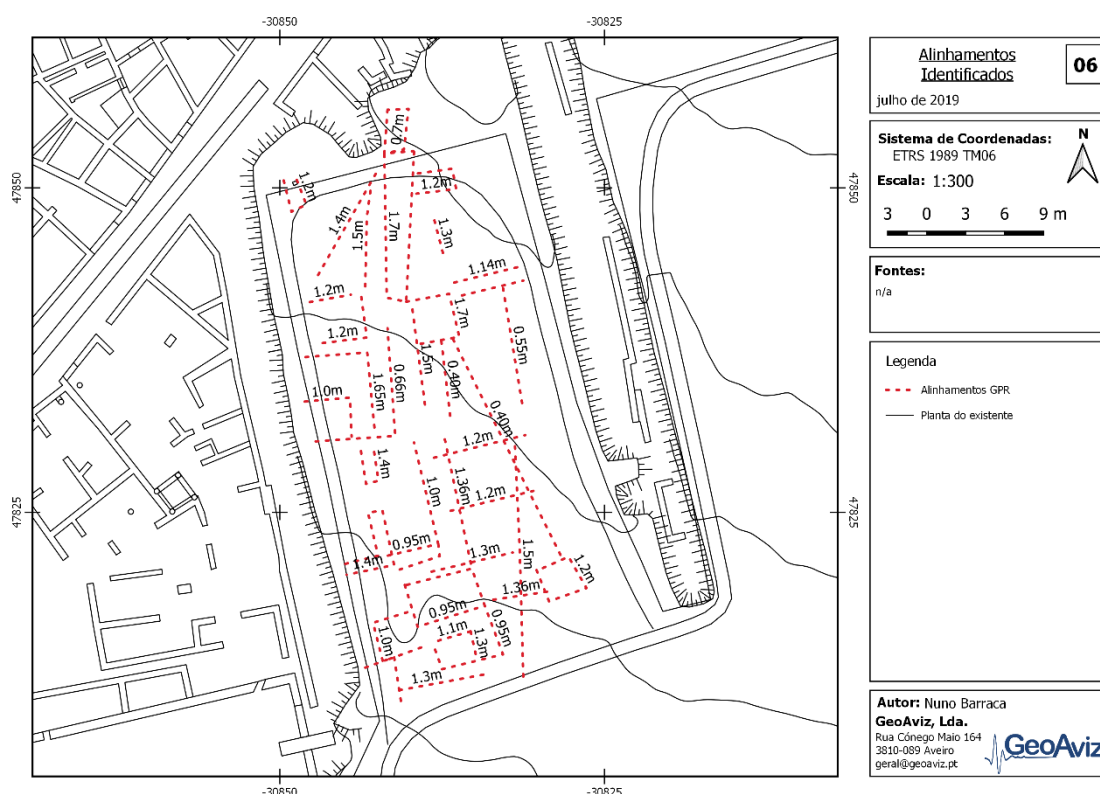


Figura 7: Representação dos resultados da aquisição por Georadar a uma profundidade média estimada entre 1.5m e 1.6m.

A Figura 8 apresenta os alinhamentos identificados através da prospecção por georadar. Nesta figura é evidente a grande quantidade de anomalias claramente relacionada com a malha urbana envolvente. É ainda evidente que a maioria dos eventos se encontra numa cota entre 1m e 1.5m abaixo da superfície do solo. Embora não sejam identificadas sempre à mesma profundidade é evidente a sua correlação com a eventual presença de muros de edificações no subsolo.

Na imagem é ainda possível verificar que as estruturas a Oeste da área de estudo são em todo mais evidentes que na área a Este. Este facto poder-se-á dever a diferentes tipologias de construção, ao facto de as estruturas a Este estarem potencialmente mais degradadas ou mesmo, o simples facto de poder não existirem estruturas neste local.



**Figura 8: A vermelho: alinhamentos identificados nos Time Slices com a respetiva profundidade de deteção marcada a negro junto do alinhamento.**

Associadas aos alinhamentos da figura anterior, foram ainda identificadas algumas áreas de interesse dado o seu elevado carácter refletor. Estes eventos, apresentados na Figura 9, demonstram locais cujas propriedades dos materiais é muito contrastante a envolvente e consequentemente deverão corresponder estruturas mais evidentes tais como pavimentos, ou derrubes de maior dimensão. Particularmente, a anomalia a 1.4m de profundidade no centro a Grelha 1, aparenta representar uma estrutura em depressão com cerca de 2.5m de diâmetro. Já as duas anomalias quadrangulares a Oeste, têm características compatíveis com pavimentos regularizados. As restantes anomalias aparentemente representam derrubes ou materiais dispersos.

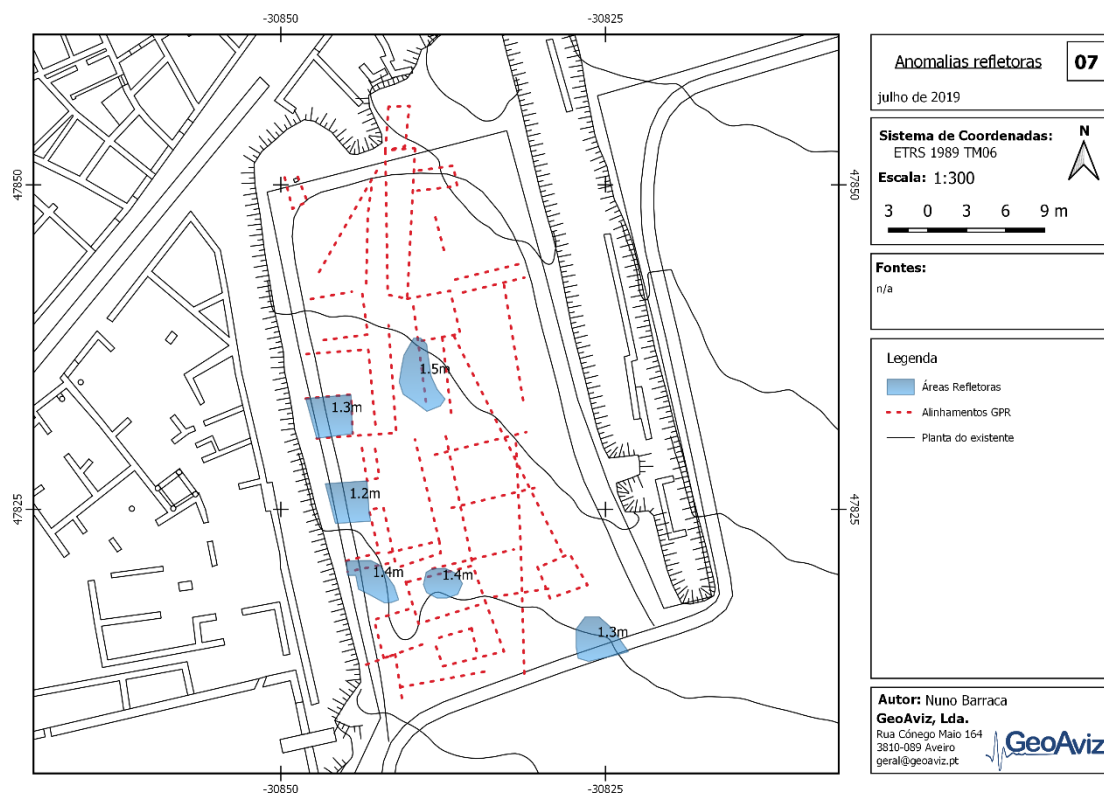


Figura 9: A azul: áreas anómalas com as respetivas profundidades de identificação.



## CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

Dos resultados do Georadar foi possível aferir a presença de estruturas no subsolo compatíveis com a presença de muros e derrubes associados a edificações da cidade romana de Conimbriga. Assim, foi possível identificar a malha urbana no local de estudo e correlacioná-la com as evidências conhecidas nas imediações, sendo notória a correlação dos alinhamentos identificados com as estruturas a Oeste da área de estudo, em contraste com a área a Norte que apresenta uma metodologia de construção mais regular e evidente.

Como em todos os trabalhos de prospecção Geofísica, é evidente que os resultados apresentados neste relatório carecem de confirmação por sondagem. Assim, propõe-se a realização de sondagens exploratórios para confirmação dos resultados apresentados e identificação da origem dos diversos eventos identificados.

Juntamente a este relatório de trabalho, serão entregues todos os dados em formato original, um projeto SIG em formato QGIS, que inclui todas as imagens georreferenciadas, e ficheiros vetoriais usados, assim como todas as imagens do presente relatório em formato original.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Annan, A. P., Cosway, S. W. (1992). Ground penetrating radar survey design. In Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems 1992 (pp. 329-351). Society of Exploration Geophysicists. DOI: 10.4133/1.2921946

Daniels, J. J. (2000). Ground penetrating radar fundamentals. Prepared as an appendix to a Report to the US EPA, Region V, 1-21.

Mendes, A. G. (1985). Os tufos de Condeixa: estudo de Geomorfologia, Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra, DOI: [http://dx.doi.org/10.14195/0871-1623\\_4\\_3](http://dx.doi.org/10.14195/0871-1623_4_3)

**FORAM DISPONIBILIZADOS EXEMPLARES DIGITAIS DESTE RELATÓRIO A:**

Museu Monográfico de Conimbriga

GeoAviz, Lda.

**RESPONSABILIDADE TÉCNICO-CIENTÍFICA DA INTERVENÇÃO:**

Nuno Barraca

**RECOLHA BIBLIOGRÁFICA E DOCUMENTAL:**

Nuno Barraca

**TRABALHOS DE CAMPO:**

Nuno Barraca; Luís Bento

**PROCESSAMENTO E INTERPITAÇÃO:**

Nuno Barraca

**CARTOGRAFIA:**

Nuno Barraca